



TITLE:

高強度コンクリートの火災時の爆裂現象における空隙圧力と熱応力に関する実験的研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

李, 在永

CITATION:

李, 在永. 高強度コンクリートの火災時の爆裂現象における空隙圧力と熱応力に関する実験的研究. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19699>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	李 在 永
論文題目	高強度コンクリートの火災時の爆裂現象における空隙圧力と熱応力に関する実験的研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本研究は火災時の高温下における高強度コンクリートの爆裂機構を解明するための研究であり、2部構成となっている。第1部（第2章～第6章）では模型部材の加熱実験から爆裂の要因を調べた。第2部（第8章～第10章）ではコンクリートの熱・水分移動に関するコンクリートの物性値と力学特性値を測定し、爆裂との関係について考察を行った。</p> <p>第1章は、序論であり、爆裂発生に及ぼす空隙圧力と熱応力の影響について、既往の知見をまとめ、爆裂機構を解明することの必要性を論じている。</p> <p>第2章では、種々の圧縮強度と含水率の直径100mm×高さ200mmのシリンダー試験体の加熱実験を行い、圧縮強度および含水率と爆裂発生の有無との関係を示した。圧縮強度が高いと含水率が低くても爆裂が生じる一方で、圧縮強度が小さければ空隙が飽和状態でも爆裂が生じないこと、絶乾状態では圧縮強度に関わらず爆裂は起きないことを示した。</p> <p>第3章では、圧縮強度100MPaのシリンダー試験体を用いて、シリカ・フューム（SF）とポリプロピレン（PP）繊維混入の影響を調べた。その結果、SF混入は、爆裂の発生とその程度には影響しないこと、PP繊維混入量が増えるほど爆裂が抑制され、3kg/m³では爆裂が起こらないことを示した。また、破片の形状を測定し、アスペクト比（L/W）は平均で1.7となることを示した。</p> <p>第4章では、圧縮強度100MPaのコンクリートで600×600×100mmの壁試験体を製作し、1面から加熱する実験を行った。1面全体が加熱される全体加熱と、1面のうち中央の300×300mmだけが加熱される部分加熱の2種類の実験を行った。爆裂発生時刻、爆裂深さと爆裂回数の時間経過、加熱面から深さ25、50、75mmでの温度、含水率、水蒸気圧と空隙圧の時間経過を測定した。また、ひずみ測定結果から、爆裂発生時の試験体の伸び率と曲率を求めた。</p> <p>その結果、部分加熱の方が、最初の爆裂発生時間は早く、爆裂深さは2.4倍となり、爆裂が起こりやすく、破壊も激しいことを明らかにした。含水率分布と温度分布の測定結果を用いて、水蒸気圧と熱応力を推算したところ、熱応力による圧縮応力が大きいことが示された。ただし、コンクリートの圧縮強度には至らず、単純な圧縮破壊では爆裂を説明出来ない結果となった。</p> <p>第5章では、小型角柱試験体（100×100×400mm）を2面もしくは4面から加熱する実験を行った。試験体の含水率、PP繊維混入の有無による比較を行った。PPを混入した試験体では爆裂が起こらず、小片の剥離が多数発生した。PP繊維混入無しでは、2面加熱したものが激しく爆裂した。そのため、第6章では、同じ試験体を2面加熱して、加熱中の変化を詳細に調べた。角柱の非加熱側に軸方向と直交してひび割れが生じ、そこから水流が発生している状態で加熱側に爆裂が発生した。含水状態の試験体では、絶乾状態よりもひび割れが多数発生し、ひび割れも多く進展した。含水状態の試験体には絶乾状態の試験体より大きな熱応力が生じたと考えられる。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	李 在 永
<p>第 7 章では高温時のコンクリートの熱物性値の測定を行った。W/B（水/バインダー比）60～18%（設計基準強度 21～100 MPa）のコンクリートを製作し、常温から 800℃までの温度範囲で熱伝導率、比熱と熱拡散係数の測定を行った。さらに、既往の研究で提案された熱伝導率を推算する方法を用いて、コンクリートを、水と空気、スケルトン、細骨材および粗骨材の 5 種の混合物として熱伝導率の推算を行った。コンクリートの熱伝導率は、普通強度である W/C（水/セメント比）60(21MPa)では温度範囲 80～120℃で大きく減少した。一方、W/C32(50MPa)、W/C22(80MPa)と W/C18(100MPa)では温度範囲 100～200℃で大きく減少した。比熱は温度により単調増加するが、水分が蒸発する温度域では蒸発潜熱の影響が現れる。W/C60(21MPa)では温度 120℃、W/C32(50MPa)、W/C22(80MPa)と W/C18(100MPa)では 120～200℃で比熱が大きく変化した。</p> <p>第 8 章では、スライスしたコンクリート片を用いて平衡含水率、空隙率と熱伝導率を測定し、圧縮強度、SF 有無、繊維混入量による影響を調べた。圧縮強度は 31.3～150 MPa、PP 繊維混入量は 0～3.0kg/m³である。相対湿度 60%以下では圧縮強度が高いほど平衡含水率は大きくなるが、相対湿度 60%以上では圧縮強度との関係は明確でなくなる。また、相対湿度と体積含水率との関係において PP 繊維混入の効果は見られないが、SF 有無による差は大きい。体積含水率と熱伝導率の関係では体積含水率の増加と共に熱伝導率は徐々に増加し、飽和直前から急増した。ただし、圧縮強度に対しては明確な関係は見られなかった。</p> <p>第 9 章ではコンクリートの圧縮強度による細孔径分布と比透気率の違いに関する検討を行った。圧縮強度は 21.5～150MPa であり、そのうちの一部では気中養生と封かん養生の 2 条件とした。細孔径分布の測定値から比透気率を推算するため、細孔径分布と絶乾時の比透気率が両方とも測定された既往文献を調査し、推算式を新たに提案した。細孔径分布の測定結果から比透気率を推算した結果、圧縮強度が増加すると比透気率は減少した。ただし、21～80MPa にかけての減少率は大きい、80MPa 以上はほぼ一定となった。圧縮強度 80MPa の絶乾時の比透気率は 21MPa の比透気率よりも 1～2 桁小さい。</p> <p>第 10 章では PP 繊維混入が高強度コンクリートの爆裂抑制に及ぼす影響を調べるため、PP 繊維の溶融および焼失が力学的特性と比透気率に及ぼす影響を調べた。使用した PP 繊維の直径は 20μm であり、比透気率はひび割れの影響を除外して繊維溶融の効果のみを調べるために細孔径分布から推算した値である。圧縮強度、弾性係数とポアソン比の測定結果から、PP 繊維混入は力学的特性としては引張強度の増加が期待されるが、高温時での効果は明らかではなかった。細孔径分布の測定結果によると、常温から 400℃までの温度範囲では空隙率は加熱温度と共にほぼ直線的に増加する。比透気率は、温度が高くなると増加し、400℃では常温時の 4.2～4.8 倍となった。しかし、繊維混入の有無による差は殆ど無く、溶融や焼失により比透気率が増加すると考える既往の説は棄却される。</p> <p>第 11 章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は火災時の高強度コンクリートの爆裂機構を解明するための研究であり、模型部材の加熱実験と熱水分移動及び力学特性に関する物性値測定を通じて、爆裂機構を解明し、ポリプロピレン繊維混入などの爆裂防止手法の定量化に資する知見を集積したものである。得られた主な成果は次のとおりである。

(1) 種々の調合のコンクリートで製作した円筒試験体の加熱実験を行い、爆裂発生の有無を調べた。圧縮強度が高いものは含水率が低くても爆裂が起きること、圧縮強度が低ければ飽和吸水状態でも爆裂は生じないこと、絶乾状態では圧縮強度に関わらず爆裂は生じないことを示し、爆裂が起こる範囲の境界を従来よりも明確にした。

(2) シリカフェームとポリプロピレン繊維混入の影響を実験的に調べ、シリカフェームは爆裂の激しさに影響しないこと、ポリプロピレン繊維は爆裂抑制効果が大きいことを示し、繊維補強の有効性を確認した。

(3) 壁試験体の全面加熱および部分加熱実験を行い、爆裂発生時刻、回数、深さなどを測定し、周囲を低温部分で拘束されたコンクリートは激しく爆裂することを明らかにした。試験体の温度、含水率、ひずみ分布を測定し、これに基づいて表層部の圧縮熱応力と、空隙圧力を推算したところ、部分加熱では圧縮強度の半分ほどまでに及んだ。一方、内部での水蒸気発生による空隙圧力上昇と熱変形による引張応力は引張強度よりもかなり小さい。これより、爆裂発生は不均一な温度分布により発生する熱応力が要因であると推論した。

(4) 熱応力による爆裂機構を再現するため、小型角柱試験体の加熱実験により角部を爆裂させた。含水状態で繊維混入がない試験体では、角部および端部で激しく爆裂し、熱応力が主要因であるとの推定が支持された。ただし、同一形状の試験体であっても絶乾状態の試験体では爆裂が起こらなかった。

(5) 爆裂機構に関連する熱水分移動に関する物性値のうち、平衡含水率と熱伝導率および細孔径分布を測定し、圧縮強度との関係を定量化した。圧縮強度が高くなるに従って、直径が大きな空隙が無くなり、材料が緻密になる。その結果、相対湿度が低い状態における平衡含水率は高くなる。熱伝導率は、絶乾状態で小さく、空隙飽和度が10～80%の範囲で徐々に増加し、80%以上で急増した。

(6) モルタルの細孔径分布の測定値等から透気率を推算し、圧縮強度と含水率が高くなると透気率が小さくなることを示した。

以上のように、本論文は、高強度コンクリートの爆裂現象の解明を通じて、実用の構造物での爆裂抑制方法を提案する基盤となるものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年2月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。